

# JNLT 計画の近況

小平 桂 一\*

## 1. 21世紀に向けて

最近では“JNLT 計画って?”と訊ねる人は少なくなって来た。日本の天文学コミュニティの力を結集してハワイに口径 7.5 m (300 インチ) の大望遠鏡を建設する計画の略称である (天文月報 78 巻 1 号参照)。計画の情報を流して欲しいという手紙が世界のいろいろな所から寄せられて、JNLT 作業班の担当者はそのつど対応に追われている。年の改まるのを機会に、関係者一同に代って、計画の近況をお伝えしてみたい。

1989年6月にはハッブル・スペース・テレスコープも打ち上げられるという本格的な宇宙のディープ・サーベイ時代の到来に向けて、近中間赤外域でも偉力を発揮する 7~8 m 級の地上大望遠鏡へのニーズは急速に高まっている。ミリ波・サブミリ波領域の天文学の発展も大きなドライビング・フォースとなっている。最近 7~8 m 級望遠鏡を造りたいと言っているグループを挙げると、大御所のアメリカ国立天文台の NNTT 計画 (4 本を同架) やヨーロッパ南天天文台の VLT 計画 (4 本のアレイ) を筆頭にして、5 指に余る。アメリカの大学連合体やカーネギー財団、西ドイツ、ソ連、等々。しかし、これらは話が進んだとしても、実現するのは 21 世紀に入ってからのことで、現在の進み具合で JNLT 計画と肩を並べているのは、チリーに設置を目指す VLT アレイの 1 号機だけである。

去る 9 月に開かれたマウナケア国際観測所利用者委員会に出席していた私達は、NNTT 計画が長期延期になったことを知って驚いた。アメリカの苦しい科学予算の状況の下では 4 本同架の計画は大き過ぎるきらいはあったものの、2 年にわたる建設地調査の結果、ハワイ島マウナケア山選定を宣言して間も無かったからである。NNTT に用いる予定のボロシケイト系ガラスを用いたハニカム鏡の開発が遅れがちという、技術側面での問題も加わったようである。アメリカが 7~8 m 級 1 本という計画に早急に手直しをするとすれば、日本がいち早く主張し VLT 1 号機でも採用されようとしている超低膨張素材を用いた薄メニスカス鏡の採用もありうる。日本の責任はますます重くなってきた。

ヨーロッパ南天天文台では、来たる 3 月末に大望遠鏡の研究会を開催するに当り、正式に JNLT 作業班に招請状を出して、技術的情報を交換したい旨申し入れて来た。非公式にはすでに 2 年近くにわたって行って来ているものの、新技術の開発は協力と競争の両面をもっている。日本側でも本年末には大望遠鏡の国際ワークショップを開催し、外国のエキスパートに招請状を出す予定である。

このような状況下で成り行きの注目されているのが、ハワイにドームを建設中のケック望遠鏡 (WMKT) である。これは 36 枚の部分鏡を寄せ集めて口径 10 m の

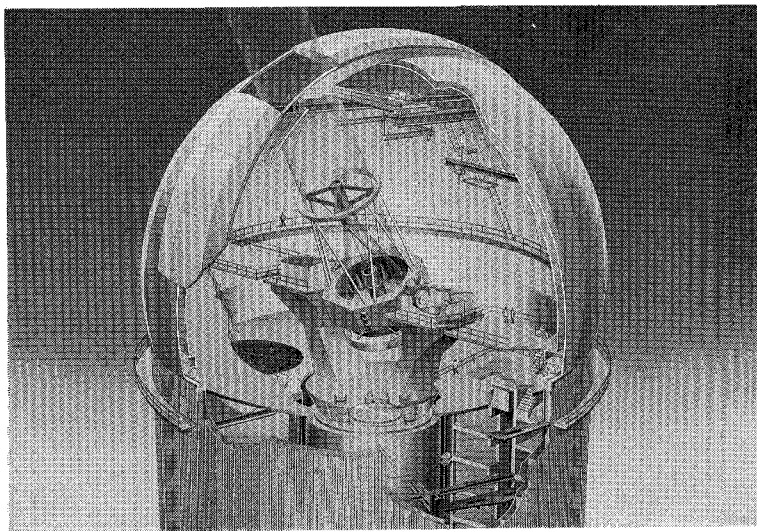


写真 1 JNLT 完成予想図 (Japanese National Large Telescope; 経緯台式, 主鏡 F/2.0, カセグレン・ナスミス焦点 F/12.5)

\* 東京天文台 Keiichi Kodaira

主鏡を構成する方式で、カリフォルニア大学連合がチャレンジしている。分割方式のトレード・オフはいくつかあるが、とりわけ個別に磨く 36 個をそろえなくてはならないという研磨技術上の困難から、大望遠鏡の要件の一つである高解像度達成が難しいとされている。分割鏡製造面を出ている一部の障害のために 1990 年代初期の完成予定が多少遅れるらしい。JNLT と並んで完成することを考え、マウナケア山上で赤外干渉計を組むことを念頭においた検討もなされている。

## 2. 作業班奮戦す

その WMKT のドーム建設の進むマウナケア山北西尾根に、1987 年の夏に 30 m の塔が建てられて、JNLT のためのサイト・テストが始まった。天文観測適地として世界第一という折紙つきの山頂には、目下この塔の他にも、大型ヨーロッパ太陽望遠鏡 (LEST) 計画のためのテスト・タワーも立っている。LEST はもともとヨーロッパ連合の計画であったが、中国も加わり、日本も関心があるとあって、世界一の場所探しに乗り出している。ハワイに落ちつく可能性も少くない。この 30 m タワーには一般の気象観測機器に加えて、微熱乱流測定装置が 3 段に設置してあって、乱流強度の地上からの高さによる変化を記録している。地表近くの熱乱流がシーイングを大きく左右するので、どれ位の高さに望遠鏡を置けばよいか、ドームはどれ位大きくすればよいか、などを決めるための実測である。約半年にわたる測定期間中

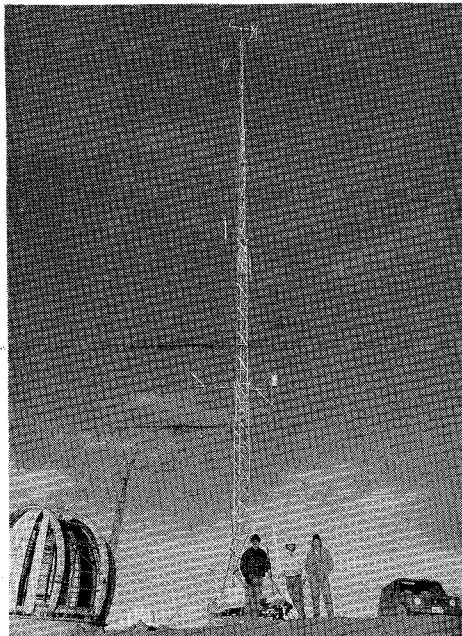


写真 2 マウナケア山頂に建てられた JNLT サイト・テスト用の 30 m タワー。左手は建設中の WMKT のドーム (1987 年夏)。

には JNLT 作業班から最低 1 名が現地に張りついていて、保守管理・データ取得に当たっている。この他木曾観測所夜天光観測室にあるのと同型の全天カメラが近くに設置されて、毎夜一時間毎の露出を続けている。

このサイト・テストに張りついてハワイ島暮しをする作業班に劣らず、JNLT 作業班の本隊は、技術開発と事務作業に余念がない。1980 年に開始された調査検討作業は、第一段の可能性調査 (1980~1984)、第二段の概念設計 (1984~1986) を経て、1986 年初めにクリチカル・レビューを行い、その結果を踏まえて 1986 年から最終段の工学模型実験による最適化作業に入っている。

東京天文台での毎週の定例作業会で総合検討を行い、光天連の作業班とのイタレーションを経て、仕様 (案) がまとまってきた。今振り返ってみると、これだけ開発要素の多い計画が、よくここまで目途が立つに至ったのだと感慨深いのは私だけではなからう。(“いよいよこれからだ!” の声あり)

とにかく今迄の日本における望遠鏡経験の全てをしぼり出して取り組んできた。取差論の解る人は光学設計を、振動論を得意とする人は構造関係を、コンピュータの得意な人はシミュレーションを、熱学に興味のある人は熱構造解析を分担する、と言った具合である。観測所関連の技術系の人々の力が大であったとは言え、大望遠鏡を抱える全く新しい側面についての検討には、天文研究者の奮戦がものを言った。外国に行って技術的調査を行った際に、“お前は天文学者じゃないのか?” と訝られることも度々だった。一方、技術系の人々が観測やデータ解析の経験を持つという日本の特殊事情は、大変有利に働いたし、技術志向の天文研究者の役割は絶大であった。

とは言っても、これだけの大装置の設計開発が素人仕事でできる筈はない。技術開発の大部分は文部省科学研究補助金を得て、大学内外の多数の工学専門家の協力の下に行われたし、企業の工学研究者との民間共同研究も重要な役割を果たした。このために定例の技術検討会というものを設けて、外部の方々にお集り願ひ、それぞれのグループによる開発検討の共通の場として来た。これには外国の工学者も多数参加してきた。なかでも 1987 年春には、世界的な大望遠鏡の専門家である D. S. ブラウン博士 (イギリス) が日本学術振興会の招きで来日され、熱心な討議が繰り広げられた。外部から参加される工学専門家の熱意は大変なもので、JNLT が必要とする先端技術の開発にチャレンジして辛棒強く取り組んできて下さった。

作業班のもう一つの大仕事は、事務的な資料作りで、これが往々にして英文和訳や和文英訳を伴うので、増々面倒である。光天連の作業班に仕事を分配して大量の翻

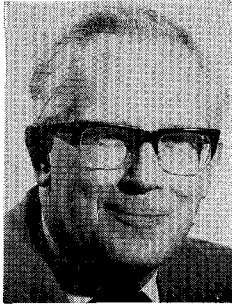


写真3 JNLTに熱心だったD. S. ブラウン博士(1986年秋)。氏は1987年6月に急逝された。ご冥福を祈る。

訳をしたり、間に合わなくなると専門家にも依頼してこなすこともある。これが技術的な資料ばかりではなく、外国設置に伴ういろいろな協定とか合意書・契約書の類もある。JNLT作業班の中に、このための専門の小作業会を置いたことさえあった。

1986年の夏には、ハワイ大学と東京天文台との間でJNLT建設に関する覚え書きを取り交わし、建設地の提供を確認した。現在はこれに続く運用開発協定書と借地契約協定書の原案を練っているが、既にハワイ側と2回の定期協議を行って、研究者レベルでの最終案に近いものが得られている。マウナケア山頂はハワイ州の州有地であるが、世界一の天文観測適地であるために科学保護地域としてハワイ大学に貸与されていて、外国にはハワイ大学が再貸与するという形をとっている。とにかく設置希望は多く、場所は限られているので、建設候補地はいつまでも使わずに確保しておく訳にはいかない。JNLTの場合、来年4月までに目途がついていないと再交渉が必要となる。運用開発協定書には、日本側の義務、ハワイ側の義務、それぞれの権利など、国際協力と共同研究上の主要な事柄が定められて記載される。この春には、ハワイ大学天文研究所のホール所長が来日され、もう一歩進んだ協定の詰めを行う予定である。

JNLT作業班の年長スタッフでも“自分の研究時間が欲しい”と痛切に感じる位であるから、中堅研究者や若手研究者はなおさらのことである。できるだけ年長組だけでこなしたいと思ってきたが既に限界を越えて、次世代の日本の天文学の発展のための礎石となる若手研究者の一部が、どっぴりとつかりつつある。技術系スタッフのかかわり方は、当然のことながらどんどんと広がって、また深くなってきている。

### 3. 大望遠鏡の心臓部

大型化することの難しさはいろいろあるが、何と言っても主鏡が一番の問題である。大きくなることで自重変形や温度変形への対応が厳しくなるし、何よりもまず大きな鏡を造ること自体が容易ではない。鏡としての性能からみれば、やはり分割鏡でなしに一枚鏡が望ましい。しかし自重変形を押えるために十分な厚みを与えると、7.5m鏡だけで100トンを超してしまい、それに従って

望遠鏡全体の重量は恐しいものになってしまう。これはコストだけの問題ではなく、製造期間の問題でもある。100トンの鏡の鑄造には10年を要するだろう。何とか軽くしないことには話にならない。

そこで検討の対象となったのが、ハニカム鏡と薄メニスカス鏡である。ハニカム鏡は内部が蜂の巣のように空洞になっているが、外形は十分な厚さに相当する寸法をもっている。薄メニスカス鏡は厚さ自体は薄いが、空洞の無い厚さ一定の均質構造をもっている。どちらの様式でも重さを約1/5に節約できる。現在の先端技術では、超低膨張ガラスで薄メニスカス鏡を鑄造することができるとは、ハニカム鏡を鑄造することはできない。ハニカム構造に鑄込むには融点や粘性の低いボロシリケート系のガラスが向いているが、物性的に高い膨張率とつながっている。超低膨張ガラスの切り張り細工で、空洞のあるエッグクレート構造の鏡が作れるが、コストも大幅にかさみ製造期間が永い。JNLT作業班ではハニカム鏡の試作も行って多面的に検討を重ねたが、最終的には薄メニスカス鏡を採用することに決めた。

理由の主なもの第一に熱的な変形の少ないもの、第二に力学的構造の単純なもの、ということになるだろう。ハニカム構造そのものは、穴から空気を内部に流し込んだりすることができるので、上手に構造設計を行えば、熱を与えたり取り除いたりし易い。こうして鏡を外気の温度と常に等しくできれば、鏡面上の熱乱流の発生を押えられる。たとえ熱膨張率の大きなガラス材でできていても、内部に空気を流して全体の温度を一様化できれば、さほど問題にはならない。JNLT作業班が行った評価では、このために必要な空気の流量が1時間当りに数十トンに上り、構造設計を行ってみると現実的でないと思われた。これは後にアリゾナ大学やアメリカ国立天文台で行われた実験でも、次第に明らかになって来た。したがって熱歪みが残るとすれば、それを力学的に外力によって補償しなくてはならないことになる。

JNLT作業班の有限要素法によるコンピュータ・シミュレーションでは、薄メニスカス鏡は均質構造なので力学的反応の見通しが比較的立て易かったが、ハニカム鏡は内部構造があるために、複雑なことが判った。実際の場合を考えると、ハニカム鏡では熱制御と力学制御が必要で、しかも互に複雑に関連する。超低膨張ガラスの薄メニスカス鏡では、主として力学制御に専念すればよい。更にJNLT作業班の計算によって、ハニカム構造が、鏡を立てた場合に——つまり、蜂の巣をねかした状態で——弱いことが判明した。これらの検討結果は逐一ハニカム鏡の開発に当たっているアリゾナ大のグループに伝えられ、再検討に付された。将来は低膨張率ガラスを用いた適切な内部構造をもつハニカム鏡の鑄造が可能と

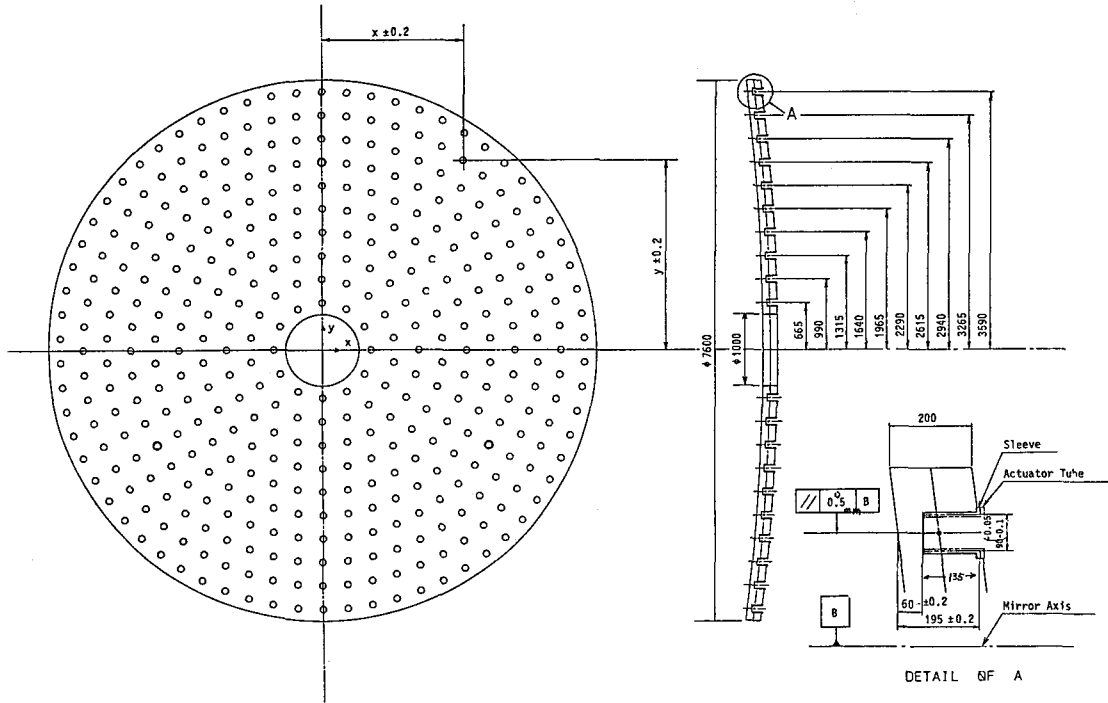


図 1 7.5 m 薄メネスカス主鏡の構造設計. 沢山の穴は支持機構のソケット用 (1987 年夏).

なり, 7~8 m 級を鋳込める日が来ることであろう。

ヨーロッパ南天天文台の VLT グループは, 当初金属鏡を使うことをつっこんで検討していた。熱膨張率は高いが熱伝導率も高いので, 熱歪みを押えられるという見通しである。また低膨張素材の簡易接着技術の開発によってエッグクレート鏡を使う方式も追求されてきた。しかしながら, いずれについても短期的見通しが立つまでに至らず, ごく最近では, 低膨張素材を用いる薄メネスカス鏡の検討に移ってきたようである。少なくとも VLT アレイの 1 号機には JNLT と似た方式の採用を考えているらしい。

それでは超低膨張ガラスによる薄メネスカス鏡を鋳込めば, それで済むのかと言うと, とんでもない。超低膨張なので研磨時に発生する熱変形の問題が小さくなり, 従来のように冷えるのを待って検査する必要がない為に時間短縮はできるが, 支持方法の大問題が待ち構えている。7.5 m の主鏡面を光の波長の 1/10 程度に制御するというのは, スケールを拡大してたとえれば, 東京都区内全域を数ミリの一樣さで地ならしするようなものである。厚さ 20 cm, 総重量 20 トンの薄メネスカス鏡を多数の支点で支えて, 支点間での自重だれを 0.1 μm 以下にするには, 約 400 の支点をほぼ均等に分布させなくてはならない。鏡の厚さを半分にするに必要な支点数は 4 倍に増え, それに反比例して鏡の弾性体としての硬さ

は低下する。支点間は狭くなり, 支持機構の保守が困難になる。ほぼ最適値の 20 cm 厚にした薄メネスカス鏡は, 3 つの固定点に載せて, 他の支点では各部分の重力を打ち消すように力支持 (フローティング) をする。この系の最低次の振動モードは約 15 Hz の振動数をもつ。各点の支持機構の力に要求される精度は  $10^{-4}$ , つまり 50 kg 重を支えるのに 5 g 重の精度が要求される。

ここ 2 年間の技術検討会の時間の多くは, いかにしてこのような高性能の能動的な支持機構を実現するかを探るのに費された。“能動的”というのには, 望遠鏡の姿勢に応じて鏡が水平になったり垂直に近くなったりすることによって, 支えるべき分力が変わるからである。慎重な検討の上に設計が行われ, 1987 年春には民間共同研究によって実機大の試作第 1 号機が完成した。その性能評価実験の結果は, これが十分に実用化できることを示したので, 引き続き改良を行った。現在では直径 60 cm, 厚さ 2 cm のモデル鏡に 12 個の能動支持機構をつけて, 変形と力の関係を見ながらシステムとして最適化する工学実験にかかっている。

主鏡関係が一番大変ではあったが, 架台, 鏡筒, ドーム, 大型蒸着槽など, どれをとっても, 大型化に伴う開発要素を含んでいて, 作業班メンバーの頭を悩ました。これらに目途がついたのも, 全くもって外部の工学専門家の協力のお陰である (詳細は別稿にゆずる)。風

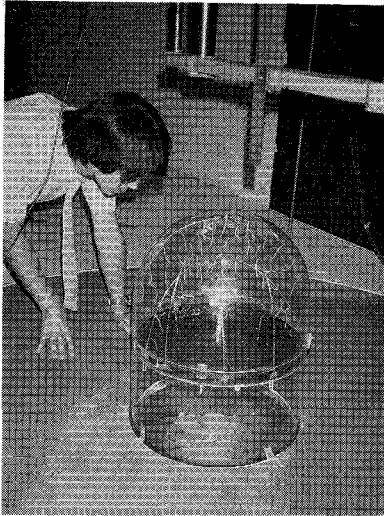


写真4 能動支持機構の実機大試作第1号の性能実験(1987年春、三菱電機通信機製作所にて)。

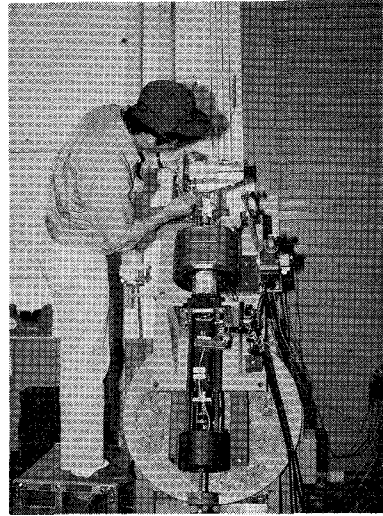


写真5 ドーム内への風圧の影響を調べる風洞模型実験(1987年夏、京都大学防災研究所にて)。

洞を必要とする地形模型実験には、気象庁気象研究所の協力を仰いだし、ドーム構造の実験には京都大学防災研究所の協力を戴いた。工学の方々からは、“先生方はお勉強がお好きですネ”と、空回りの思考実験に皮肉を言われたこともしばしばであった。

#### 4. 国立天文台の発足

JNLT計画は、関心をもつ連中が集まった光学天文連絡会を土台にして、永年にわたって練られてきたが、1985年には日本学術会議天文学研究連絡委員会の推進勧告を得て、東京天文台が正式に推進の窓口役を担うことになった。東京天文台の観測施設には全国の研究者によって共同利用されているものが少くないが、JNLTの場合には更に外国に設置するというのもあって、一大学の枠内で実現するよりも、国立大学共同利用機関が担当の方が適切であるという判断は、計画の当初からあった。かなりの共同利用を実施している(あるいは目指している)天文関連分野の研究機関の再編成をして、そのような新組織を生み出してはどうかという模索が始められたのは、ごく数年前である。現在では、この4月に国立天文台(今ではまだ仮称)が発足する見通しとなっていて、これがJNLT計画を実現させていく上での中心機関となる筈である。

こうした組織の改変にはメリットもあればデメリットもあって、とりわけ当の研究所に居るスタッフにとってはディレンマに陥る場面も少くない。これからは今まで以上に良い面を伸ばし、欠点を克服していく努力が求められるだろう。

さてJNLTはハワイの4200mの山の頂きに建設されるので、ハワイ島のどこかに現地のオフィスが必要と

なる。望遠鏡や観測機器の保守、改良を行いつつ、観測にやってくる研究者を補助しなければならない。現地にへばりついていないとできない類の観測と研究も、この人達がすることになる。(英語でパンを食べるのが苦痛の人には、ハワイ島はやや楽観的になれる。日本語の通じることもあればお米もある。)国立天文台に付置されたハワイ観測所という形をとることになるだろう。

一方、国内の本部ともいべき所では、JNLTのための観測機器やそれを動かせるのに必要なソフトウェアの開発を行う実験グループ、JNLTでとれたデータを処理したりその管理をするワークステーション担当のグループ、それにハワイ観測所とのテレメタリンクによる通信連絡や派遣事業を担当するグループ、などを配置しなくてはならない。これらはひっくり返してJNLT推進本部というようなことになるのだろうか。ここに全国の関連研究者がやって来ては、観測機器の開発にたずさわって、ハワイ行の準備をし、帰って来てはデータ処理をするということになるだろう。野辺山宇宙電波観測所が一つのお手本である。

こうした新組織については基本的な検討を終えて、現在では細部の詰めを行っているが、良い装置による優れた研究には、人が何よりも大切である。数だけでなく質も大切だが、その人達の働く環境も大切である。若い人達が喜んでとび込んで来るような環境を用意したいとつくづく感じている。

幸いにして国立天文台が発足すれば、早速にも新機関の大型装置計画が策定され、21世紀に向けてJNLT計画が動き出せるように、出発準備万端を整えつつあるというのが近況である。